

А.А. ПЕТКОВ

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИХ БЕЗОТКАЗНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ.

У роботі запропонована методика оцінки надійності одиничних вимірювальних комплексів і аналогічних їм технічних пристроїв за результатами безвідмовної експлуатації. Представлено матеріали, що дозволяють робити таку оцінку.

Наиболее достоверным источником информации о надежности измерительных комплексов (ИК), как и других технических устройств (ТУ) являются данные об их эксплуатации в реальных условиях. Особенности ИК для проведения электромагнитной диагностики состояния заземляющих устройств [1], как объекта исследования надежности, являются:

- высокие требования к надежности, что определяется условиями их эксплуатации (эксплуатация в полевых условиях, удаленность от ремонтной базы);

- постоянное совершенство конструкции и, как следствие, незначительный объем выпуска ИК одной модификации и высокая стоимость, что ограничивает возможности проведения специальных испытаний на надежность.

Указанные обстоятельства объективно приводят к ситуации, когда оценку надежности ИК приходится производить по результатам их безотказной эксплуатации. Для этой цели используют аппарат цензурированных выборок [2, 3] – выборок, элементами которых являются значения наработки до отказа и наработки до цензурирования (в нашем случае – наработка от начала эксплуатации ИК до момента ее фиксации, при условии, что отказ ИК не наступил). Однако в случае отсутствия отказов ИК (имеется только наработка до цензурирования), материалы, приведенные в нормативных документах [3] не позволяют оценить показатели надежности, а научные материалы по данному вопросу [2] не предоставляют инженерной методики такой оценки.

В настоящей работе предложена методика оценки показателей надежности единичного ИК с использованием его наработки до цензурирования.

Постановка задачи. Пусть ИК эксплуатировался в течение времени t_0 (текущая наработка) и работал безотказно. Известно, что отказы ИК данного типа подчиняются экспоненциальному закону. Требуется определить дополнительное время (наработку) t_d , которое ИК может проработать до отказа.

Дополнительную наработку определим как математическое ожидание наработки ИК после момента t_0 при условии, что ИК в интервале $[0, t_0]$ находился в исправном состоянии.

$$t_d = M[t]_{t>t_0} = \int_{t_0}^{\infty} P(t) dt \quad (1)$$

где t_d - дополнительная наработка; $M[t]$ - математическое ожидание наработки ИК после момента t_0 ; $P(t)$ - вероятность безотказной работы ИК в момент t .

После подстановки в (1) выражения для вероятности безотказной работы при экспоненциальном распределении отказов, имеем:

$$t_d = e^{-\lambda t_0} / \lambda \quad (2)$$

где t_d - дополнительная наработка; λ - интенсивность отказов; t_0 - текущая наработка ИК.

Тогда наработка данного ИК до отказа определится как:

$$T_0 = t_0 + t_d \quad (3)$$

где T_0 - наработка до отказа; t_0 - текущая наработка; t_d - дополнительная наработка.

На практике интенсивность отказов λ обычно не известна и для ее определения воспользуемся решением известной задачи о доверительном интервале для малой вероятности [4], из которой следует, что если ИК при некоторой наработке не отказал и в этот момент имеет некоторую неизвестную вероятность безотказной работы – P , то при доверительной вероятности β нижняя граница вероятности безотказной работы ИК определится как $P_H = 1 - \beta$, а верхняя граница – $P_B = 1$. Тогда, учитывая, что отказы ИК подчиняются экспоненциальному закону, значение границ интенсивности отказов определится по соотношениям:

$$\lambda_H = 0; \quad \lambda_B = -\ln(1 - \beta) / t_0, \quad (4)$$

где λ_H - нижнее значение интенсивности отказов; λ_B - верхнее значение интенсивности отказов; β - доверительная вероятность; t_0 - текущая наработка.

Выражения (4) предоставляют интервальную оценку для λ и, соответственно, для t_d данного ИК. Точечная оценка интенсивности отказов λ_T находится между границами интервальной оценки, поэтому ее можем представить как

$$\lambda_T = K \lambda_B \quad (5)$$

где $0 < K < 1$ и конкретное значение коэффициента K может быть определено из решения следующей задачи.

Пусть проводятся ресурсные испытания ИК определенного типа, отказы которых подчиняются экспоненциальному закону с известной интенсивностью отказов λ . Испытания прекращаются при наработке t_0 до наступления отказа. Вычислим среднюю наработку до отказа двумя способами: первым - непосредственно, используя известную интенсивность отказов – $T_{CP1} = 1 / \lambda$ и вторым, рассмотренным ниже, который использует значение K как переменной – $T_{CP2} = T_{CP2}(K)$. Применяя метод статистического моделирования, подберем значение коэффициента K таким образом, чтобы математическое ожидание отношения

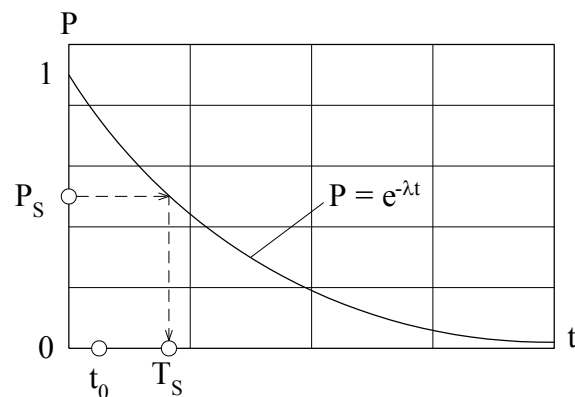
$$G = T_{CP1} / T_{CP2}(K) \quad (6)$$

минимально отклонялось от единицы, т.е. в статистическом смысле T_{CP1} и T_{CP2} совпадали. Тогда, подставляя найденное значение K в (5), мы получаем возможность находить точечную оценку интенсивности отказов ИК.

Таким образом решение задачи нахождения величины K сводится к решению задачи минимизации вида:

$$\begin{aligned} &\text{минимизировать функцию } f(K) = |1 - M[G]|, \\ &\text{при ограничении } 0 < K < 1, \\ &\text{где } M[G] - \text{математическое ожидание величины } G, \text{ определяемой по (6).} \end{aligned} \quad (7)$$

Рассмотрим порядок вычисления T_{CP2} , как функции аргумента K . Для заданного значения λ случайным образом выбираем значение вероятности безотказной работы P_s (иллюстрация дальнейших рассуждений приведена на рисунке).



Рисунок

$$P_s = RR[0,1] \quad (8)$$

где P_s - случайное значение вероятности безотказной работы ИК; $RR[0,1]$ - функция, генерирующая равномерно распределенное число в интервале $[0,1]$.

Далее определим случайную наработку ИК до отказа:

$$T_s = - \ln(P_s) / \lambda \quad (9)$$

Таким образом, мы определили интервал, на котором ИК работал безотказно - $[0, T_s]$, что позволяет определить случайную текущую наработку t_0 по соотношению:

$$t_0 = RR[0, T_s] \quad (10)$$

Используя (4) вычислим λ_B и далее, задаваясь некоторым значением K и подставляя $\lambda = K\lambda_B$ в (2), определим дополнительную наработку t_d и наработку до отказа T_0 , и после многократного применения описанной процедуры появляется множество значений T_0 (имитация испытаний большого количества ИК), которое позволяет определить среднюю наработку

до отказа - $T_{CP2} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n T_{0k}$, где n - количество "испытанных" ИК.

Решение задачи (7) было проведено с помощью средств среды электронных таблиц Excel. Результаты расчета величины K представлены в таблице.

Таблица

β	0,8	0,85	0,9	0,95
K	0,347	0,300	0,245	0,190

Таким образом, в настоящей работе предложена методика оценки надежности единичных ИК (и аналогичных ТУ) по результатам его безотказной эксплуатации, представлены материалы, позволяющие производить такую оценку.

Список литературы: 1. Колушко Г.М., Доценко В.И. и др. Измерительный комплекс для проведения электромагнитной диагностики состояния заземляющих устройств электроэнергообъектов // Вестник национального технического университета "ХПИ". Тематический выпуск "Электроэнергетика и преобразовательная техника". Т1. – 2002. -№7. – С. 157 –166. 2. Скрипник В.М., Назин А.Е. и др. Анализ надежности технических систем по цезурированным выборкам. – М.: Радио исвязь, 1988. – 184 с. 3. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. ДСТУ 3004-95. К.: Госстандарт Украины, 1995. – 123 с. 4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: ГИФМЛ, 1962. – 564 с.

Поступила в редколлегию 20.09.02